

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Průzkum trhu – větrné elektrárny malého výkonu
Market Research of Devices Equipment of Wind Power Plants

2013

Jiří Pařízek

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Pařízek**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Průzkum trhu - větrné elektrárny malého výkonu**
Market Research of Devices Equipment of Wind Power Plants

Zásady pro vypracování:

1. Konstrukční členění větrné elektrárny malého výkonu
2. Varianty provozních režimů větrné elektrárny malých výkonů
3. Návrh systému s větrnou elektrárnou pro napájení ostrovního systému
4. Závěrečné zhodnocení efektivnosti využití větrné elektrárny pro napájení ostrovního systému

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KAMINSKÝ, J.; VRTEK, M. Obnovitelné zdroje energie. Ostrava : VŠB-TU, 1998, 96 s. ISBN 80-7078-445-8.
- [2] TAVNER, J., XIANG, J., SPINATO F. Reliability analysis for wind turbines. Durham University, UK 2005.
- [3] RYCHETNÍK, V.; PAVELKA, J.; JANOUŠEK, J. Větrné motory a elektrárny. Praha : ČVUT, 1997. 199 s. ISBN 80-01-01563-7.
- [4] CHMELÍK, K. Asynchronní a synchronní elektrické stroje. Ostrava : VŠB-TU, 2002. 135 s. ISBN 80-248-0025-X.
- [5] Mišák, S., Chmelík, K.: SMALL POWER GENERATOR FOR WIND POWER PLANTS. In proceedings of Maszyny elektryczne, Ryto:KOMEL, BOBRME, 2009, vol. 2009, čís. 81, 119-125, ISSN 0239-3646

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne

.....

Jiří Pařízek

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Mišákovi Stanislavovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, připomínky a cenné rady při zpracovávání mé bakalářské práce.

Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout ostrovní systém pomocí větrné elektrárny pro odlehlou chatu v Krušných horách. První část bakalářské práce se zabývá konstrukčním členěním větrných elektráren malých výkonů. Jsou zde popsány a rozebrány jednotlivé části větrné elektrárny. Druhá část popisuje varianty provozních režimů větrných elektráren malých výkonů, jakou funkci může plnit malá větrná elektrárna a v jakých režimech může pracovat. V třetí části je vysvětlen návrh ostrovního systému s větrnou elektrárnou pro chatu v Krušných horách v lokalitě, kde není možnost připojení k distribuční soustavě. Tento ostrovní systém je sestaven ze zdrojů elektrické energie a to z větrné elektrárny a záložního zdroje elektrické energie. Poté je zpracován průzkum českého trhu pro větrné elektrárny a je vybrána vhodná větrná elektrárna pro ostrovní systém spolu s dalšími elektrickými zařízeními. Poslední čtvrtá část vyhodnocuje efektivní využití větrné elektrárny a délku její návratnosti v celoročním provozu v porovnání s pořízením a vybudováním elektrické přípojky k chatě.

Klíčová slova:

Průzkum trhu, větrná elektrárna, ostrovní systém, ekonomická návratnost

Abstract:

The major aim of this bachelor's thesis is to design an off-grid wind power system for a secluded chalet in the Ore mountains. The first part of the present thesis deals with the constructional design of small-scale wind power plants. The section describes in detail the individual parts of a wind power plant. The second part provides an overview of the possible operation modes of small-scale wind power plants. The functions and operation modes of a small-scale wind power plant are discussed. The third part contains a description of the design of an off-grid power system for a chalet in the Ore mountains in a location, where a connection to the distribution grid is not possible. This off-grid power system consists of electric power storage sources, namely from a wind power plant and a backup power storage source. Furthermore, the thesis conducts research of the Czech wind power plants market. Based on the results, a suitable wind power plant and additional electric devices for the off-grid power system are selected. The final part of the present thesis evaluates the efficiency and the rate of return of the wind power plant in year-round operation as compared to the purchase and construction price of connecting the chalet to the electrical grid.

Key words:

Market research, wind power plant, off-grid wind power system, rate of return

Seznam použitých zkratek a symbolů:

Zkratka	Jednotka	Popis
ČHMÚ	-	Český hydrometeorologický ústav
E	(W·h)	denní energetická spotřeba (energie, práce)
P	(W)	příkon, výkon
η	(-)	účinnost (podíl vystupující a vstupující energie, 1=100%)
Q	(A·h)	štitková kapacita akumulátorů či baterií
U	(V)	elektrické napětí
PV modul	-	fotovoltaický panel
LCD	-	Liquid-Crystal Display
LED	-	Light-Emitting Diode
s.r.o.	-	společnost s ručením omezeným
grid-off	-	ostrovní systémy
grid-on	-	systémy připojené na síť
Stand-by	-	pohotovostní režim
A++	-	štitkové onačení spotřeby pro spotřebiče
DC	-	direct current (stejnoseměrný el. proud)
AC	-	alternating current (střídavý el. proud)
N_{CNI}	Kč	celková cena investičních nákladů
AVR	-	Automatic Voltage Regulation

Obsah:

Úvod.....	1
1 Větrné elektrárny.....	2
1.1 Princip větrné elektrárny	2
1.2 Rozdělení větrných elektráren	2
1.3 Základní části větrné elektrárny	4
1.3.1 Rotor	5
1.3.2 Převodový mechanismus	7
1.3.3 Elektrické generátory	8
1.3.4 Stožár	8
1.4 Systém natáčení rotoru	8
1.4.1 Kormidlo	8
1.4.2 Boční pomocné rotory.....	9
1.4.3 Natáčecí pomocné motory	9
1.5 Způsoby regulace výkonu větrného rotoru	10
1.5.1 Regulace Pitch (regulace natáčení listů)	10
1.5.2 Regulace Stall (pasivní)	10
1.5.3 Regulace Stall (aktivní).....	10
2 Provozní režimy větrných elektráren	11
2.1 Ostrovní systém	11
2.2 Systémy připojené k síti	13
2.2.1 Větrná elektrárna jako doplňkový zdroj energie.....	13

2.2.2	Větrná elektrárna určená k prodeji elektřiny do sítě	13
3	Návrh systému s větrnou elektrárnou pro napájení ostrovního systému	14
3.1	Návrh ostrovního systému větrné elektrárny	14
3.1.1	Popis daného místa výstavby malé větrné elektrárny	14
3.1.2	Popis energetických požadavků chaty	15
3.1.1	Výpočet denní spotřeby elektrické energie všech spotřebičů v chatě	16
3.1.2	Sestava ostrovního systému větrné elektrárny	18
3.1.3	Určení účinnosti ostrovního systému větrné elektrárny	18
3.1.4	Výpočet potřebné kapacity akumulátorů	19
3.1.5	Výpočet potřebného výkonu měniče napětí	20
3.1.6	Výběr malé větrné elektrárny pro ostrovní systém	21
3.1.7	Výběr regulátoru dobíjení	21
3.1.8	Vytvoření umělé zátěže	22
3.1.9	Volba záložního zdroje elektrické energie	23
3.2	Průzkum trhu pro ostrovní systém větrné elektrárny	23
3.2.1	Výběr větrné elektrárny	23
3.2.2	Výběr regulátoru dobíjení	26
3.2.3	Výběr měniče napětí	27
3.2.4	Výběr baterií	28
3.2.5	Výběr temperovacích těles pro umělou zátěž	28
3.2.6	Výběr elektrocentrály	29
4	Závěrečné zhodnocení efektivnosti využití větrné elektrárny	30
4.1	Investiční náklady	30

4.2	Srovnání napájecích systémů pro chatu.....	32
5	Závěr	33
6	Seznam použité literatury.....	35

Úvod

Česká republika nepatří ke státům, kde by četnost větru dosahovala velkých rozměrů, se kterou se můžeme setkat u přímořských nebo horských zemí. Ale také u nás se staví větrné elektrárny. Nejde však jen o větrné parky. Malou větrnou elektrárnu může vlastnit na zahradě každý, kdo má vhodné podmínky pro její provoz. Díky tomu se na našem trhu začaly objevovat vedle velkých větrných elektráren i malé větrné elektrárny, které se velmi hodí k chatám či rodinným domům.

V posledních letech je velká snaha hojně využívat obnovitelné zdroje energie a tím se stát nezávislým na dodávce elektrické energie z distribuční sítě. Využití větrné energie, jako velkého zástupce v obnovitelných zdrojích, prošlo v posledních letech velkým rozvojem.

Bakalářská práce zpracovává konkrétní návrh systému pro chatu v Krušných horách, kde jsou velmi dobré povětrnostní podmínky. Systém bude ostrovní, tedy bez dodávky elektrické energie z distribuční sítě. Návrh ostrovního systému se bude zabývat jednotlivými návrhy zařízení pro správný chod v celém ostrovním systému. Pro ostrovní systém se pak vyberou z jednotlivých českých firem jednotlivá zařízení, jejichž parametry se vypočítaly a zdůvodnily. Jako závěrem bakalářské práce se zhodnotí efektivita investice do ostrovního systému s větrnou elektrárnou v porovnání s vybudováním elektrické přípojky do chaty.

1 Větrné elektrárny

Větrná elektrárna je zařízení pro výrobu elektrické energie. Staví se v lokalitách, kde má vítr dostatečnou četnost a rychlost. Nejčastěji je tomu na horách, pobřeží a ostrovech. Větrná elektrárna je připevněna na stožáru (gondole) v dostatečně velké výšce nebo na střechách rodinných domů či firem. Samotný výkon větrné elektrárny závisí na intenzitě a četnosti výskytu větru.

1.1 Princip větrné elektrárny

Větrná energie vzniká dopadem sluneční energie na naši planetu. Vítr je neustálé proudění vzduchu, které se vytváří díky tlakovým rozdílům různě zahřátých oblastí vzduchu v zemské atmosféře. Vítr je pouze horizontální složka proudění vzduchu, kde vznikají aerodynamické síly, které působí na listy vrtule. Ty přeměňují kinetickou energii větru na rotační mechanickou energii rotoru. Rotor je spojen buď přímo, nebo přes převodový mechanismus s elektrickým generátorem, který je zdrojem elektrické energie.

Díky prouděním vzduchu působí na rotorové listy velké aerodynamické síly, proto musí být listy rotoru speciálně tvarované. Jejich tvar je velmi podobný profilu křídla letadla.

Prouděním vzduchu okolo listů rotoru elektrárny vzniká vztlak, který svým působením na listy rotoru způsobí rotační pohyb rotoru. Se vzrůstajícím působením větru vzrůstají také vztlakové síly s druhou mocninou rychlosti větru a energie vyprodukovaná generátorem s třetí mocninou. [1]

Aby nedocházelo k mechanickému nebo k elektrickému přetížení rotoru vlivem těchto sil, je zapotřebí provádět správnou regulaci výkonu. Správná regulace může větrné elektrárně prodloužit životnost a hlavně zabrání jejímu poškození vlivem velké rychlosti větru. [2]

1.2 Rozdělení větrných elektráren

a) podle výkonu

Mikroelektrárny jsou nejmenší větrné elektrárny malých výkonů, které se pohybují přibližně do 1 kW. Nejsou vhodné pro dodávku do veřejné sítě. Používají se převážně pro dobíjení akumulátorů.

Výkon malých větrných elektráren bývá přibližně do 15 kW. Lze je použít k dvojímu účelu. První je dodávka do veřejné sítě a druhá je použití na odlehlých místech pro chaty, farmy či rodinné domy pro akumulaci do akumulátorů jako zdroj elektrické energie.

Výkon středních větrných elektráren se pohybuje mezi 15 kW a 100 kW. Používají se pro dodávky elektrické energie do veřejné sítě nebo pro napájení několika stavení.

Velké větrné elektrárny jsou určeny vždy k dodávce elektrické energie do sítě pro napájení vesnic a měst. Výkon velké větrné elektrárny je od stovek kW až po jednotky MW. Největší dosud postavená větrná elektrárna má výkon 7 MW. [1].

b) podle aerodynamického principu

Větrné elektrárny pracující na vztakovém principu s vodorovnou osou otáčení, kdy vítr obtéká lopatky rotoru. Při stejném průměru rotoru však platí nepřímá závislost počtu listů a frekvence otáčení, proto je nejčastějším používaným typem tří listový rotor. Někdy byl však použit dvou listový nebo jednolistový rotor.

Větrné elektrárny pracující na vztakovém principu se svislou osou otáčení (typ Darrieus). Tyto větrné elektrárny dosahují velkých rychlostí a tím i velkých účinností. Velkou výhodou je, že se rotor nemusí natáčet do směru větru. V praxi se však tyto větrné elektrárny neuplatnily. Nevýhodou je, že dochází k velkému dynamickému namáhání, které snižuje jejich životnost.

Větrné elektrárny pracující na odporovém principu (typ Savonius). Podstatou je, že plocha nastavená proti směru větru klade aerodynamický odpor. Tento typ se v praxi neosvědčil svojí nízkou účinností. Proto se používá jen na měření rychlosti jako anemometry [5].

c) podle konstrukce

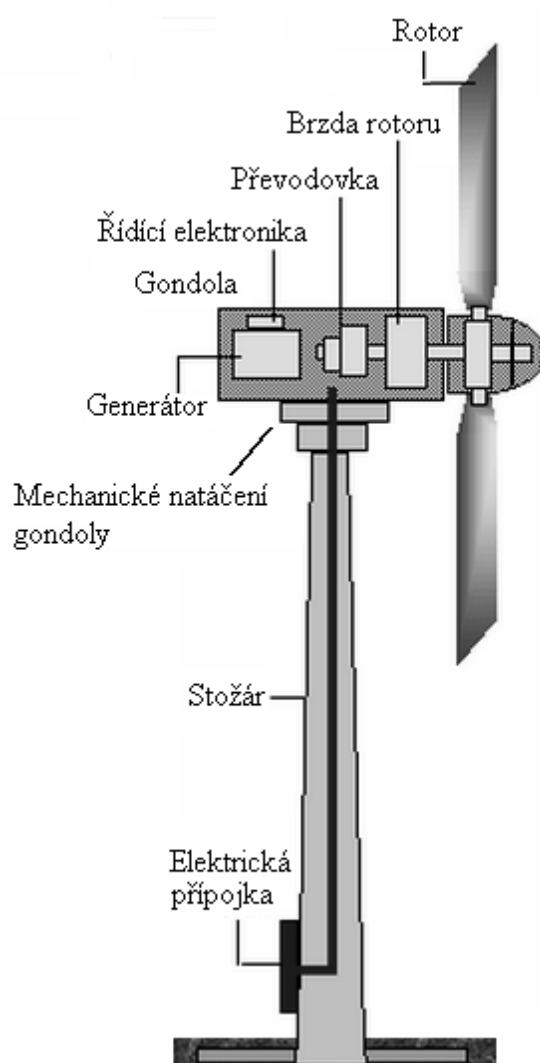
Rotory s vertikální osou rotace patří k nejstarším používaným větrným motorům. Svoji konstrukcí jsou jednoduché a nevyžadují složitý přenos výkonu od osy rotoru na zem. Svými konstrukcemi je rozlišujeme na Darrieův rotor fungující na vztakovém principu a Savoniův rotor pracující na odporovém principu.

Rotory s horizontální osou rotace jsou v současné době nejrozšířenějším typem. Podle konstrukce je dále dělíme na větrné elektrárny s vrtulí nebo lopatkovými koly [3].

1.3 Základní části větrné elektrárny

Mezi základní části větrné elektrárny patří:

- Rotor
- Generátor
- Stožár
- Přípojka k elektrické síti



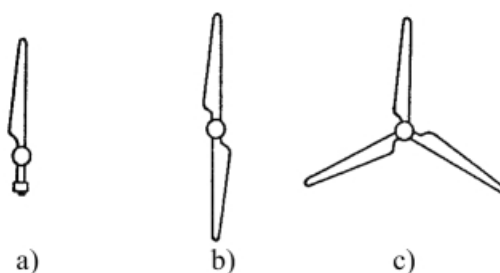
Obr. 1.1 Schéma základní části větrné elektrárny [7]

1.3.1 Rotor

Rotory dělíme dle osy rotace do dvou skupin. Rotory s horizontální osou rotace, kam patří vrtule a lopatkové kolo, a do skupiny s vertikální osou rotace patří Savoniův rotor a Darrieův rotor.

- **Rychloběžný rotor**

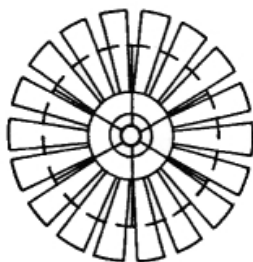
Rotor s vrtulemi je rychloběžný typ větrného rotoru s horizontální osou rotace. Je teoreticky nejúčinnější a tedy nejpoužívanějším typem. Vyrábí se jak pro mikroelektrárny, tak pro velké větrné elektrárny. Vrtule se nejčastěji vyrábějí ve dvoulistém nebo trojlistém provedení. Jsou vyráběny i jednolistové a čtyřlistové vrtule, ale ty se moc často nepoužívají. Listy jsou speciálně konstruovány, aby efektivně přenášely sílu větru na rotor s nejlepší možnou účinností. Dá se říci, že účinnost tohoto rotoru je 58 %. Jestliže budeme dále uvažovat, že účinnost převodu mezi mechanickou energií na hřídeli rotoru vrtule a elektrickou energií na svorkách generátoru je 80%, pak celková účinnost větrné elektrárny je asi 40 až 45% [2].



Obr. 1.2 Uspořádání vrtulí větrných motorů [2]:
a) jednolistá, b) dvoulistá, c) třílistá

- **Lopatkové kolo**

Lopatkové kolo je pomaloběžný typ větrného rotoru s horizontální osou rotace. Obsahuje někdy i 24 lopatek, které mají průměr od 5 do 8 metrů. V zásadě platí, že frekvence otáčení nepřímo úměrně závisí na počtu lopatek rotoru. Výhoda je však v tom, že s větším počtem lopatek má rotor větší momentové síly a to znamená, že se snadněji rozeběhne už při nízkých otáčkách, kolem $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Ve srovnání s rychloběžným rotorem má však mnohem menší účinnost. Svoje uplatnění nenachází ve výrobě elektrické energie, ale je často využíván k čerpání vody ze studny. Nevýhoda je v jeho konstrukci. Celé lopatkové kolo je poměrně těžké a tím potřebuje silnější ocelový nosný prvek, což je ekonomicky náročné a nevýhodné.



Obr. 1.3 Větrné kolo s 18 lopatkami [2]

- **Darrieův rotor**

Skládá se většinou z dvou nebo více křídel, které rotují kolem společné vertikální osy rotace. Jedná se o rychloběžný typ větrného rotoru. Jeho účinnost dosahuje 38%. Výhodou je jednoduchá konstrukce a není potřeba rotor natáčet proti směru větru. V praxi se však neuplatňuje, neboť dochází k mnohem většímu dynamickému namáhání, které snižuje jeho životnost.

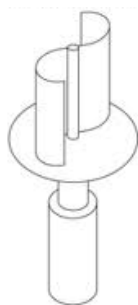


Obr. 1.4 Darrieův rotor [2]

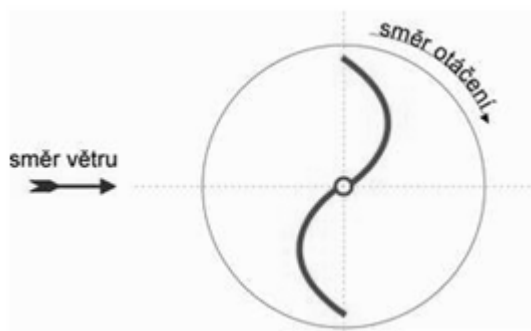
- **Savoniův rotor**

Má jednoduchou konstrukci, která je tvořena dvěma plochami ve tvaru půlválců. Jednotlivé části jsou přesazeny tak, aby se navzájem vnitřní strany překrývaly nebo se jen dotýkaly (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Savoniův rotor využívá tzv. Robinsonova jevu, který říká, že odpor vyduté části je asi 4x menší než odpor vypouklé části. Proto se rotor rozbíhá už při nízkých rychlostech větru. Nevýhoda je však v jeho účinnosti, která je 23 až 30%.

Ve světě se snaží konstruktéři skloubit Savoniův a Darrieův rotor dohromady. V takto spojeném větrném rotoru zajišťuje Savoniův rotor rozběh při nižších otáčkách, čímž roztáčí Darrieův rotor, který má podstatně vyšší účinnost [2].



Obr. 1.5 Savoniův rotor [2]



Obr. 1.6 Princip činnosti rotoru [2]

1.3.2 Převodový mechanismus

Převodový mechanismus je velice důležitou součástí větrné elektrárny. Rotor málokdy dosahuje takových otáček, aby vyhovoval požadovaným otáčkám pracovního stroje. Je tedy zapotřebí dát mezi rotor větrného motoru a pracovní stroj převodové soustrojí s relativně velkým převodovým poměrem. Jako příklad uvažujme větrný motor 2 500 kW, který má převodový mechanismus 1:60. U menších větrných elektráren do 50 kW je převodový mechanismus 1:12 až 1:25. Na převodovku jsou kladeny vysoké požadavky. Je požadována vysoká životnost, těsnost a nízká hlučnost, a především co nejmenší ztráty [3,26].



Obr. 1.7 Převodový mechanismus větrné elektrárny [3]

1.3.3 Elektrické generátory

Generátor je zařízení, které přeměňuje mechanický otáčivý pohyb hnacího ústrojí na elektrickou energii. Elektrická energie se ve větrných elektrárnách nejčastěji přeměňuje pomocí synchronních nebo asynchronních generátorů trojfázového střídavého proudu nebo pomocí stejnosměrných generátorů.

Malé větrné elektrárny o výkonech do 10 kW jsou natolik rychloběžné, že používají nejčastěji vícepólové synchronní generátory s permanentními magnety. Za generátorem je usměrňovač pro napájení akumulované baterie do ostrovní stejnosměrné sítě o jmenovitém napětí 12, 24 nebo 48 V.

Pro střední a velké výkony větrných elektráren se k výrobě elektrické energie nejčastěji používají běžné asynchronní motory s kotvou nakrátko, které pracující v generátorickém chodu. Mají výhodu ve vysoké spolehlivosti a nenáročné údržbě.

Pro větrné elektrárny velkých výkonů se používají synchronní generátory s budícím vinutím na rotoru. [3,26].

1.3.4 Stožár

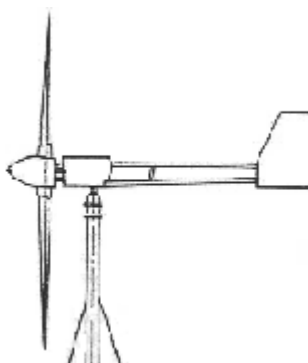
Hlavní částí nosného systému větrné elektrárny je stožár. Jaký typ stožáru zvolit úzce souvisí s velikostí a typem větrné elektrárny. Nejčastěji je instalován ocelový tubusový stožár, který se většinou používá u středních a velkých větrných elektráren. Málo používaný typ je příhradová konstrukce. Tento typ není v Evropě tak znám. U malých větrných elektráren je většinou tvořen trubicí kotvenou lany v jedné nebo několika výškách [2].

1.4 Systém natáčení rotoru

Aby byla dosažena maximální účinnosti přeměny energie větru na mechanickou práci, je důležité nastavit rotor správně do směru větru. Při nesprávném natočení rotoru větrná elektrárna ztrácí svůj výkon. K zajištění správného natočení existuje celá řada systémů. Opět bude hrát velkou roli typ větrné elektrárny, neboť některé typy pro malé větrné elektrárny budou stěží aplikovatelné pro velké větrné elektrárny. Je třeba myšleno použití kormidla, které se běžně používá pro malé větrné elektrárny.

1.4.1 Kormidlo

Kormidlo je orientační zařízení, které je umístěné na závětrné straně gondoly. Princip spočívá v tom, že strojovna větrné elektrárny je opatřena kormidlem pevně spojeným s rámem strojovny. Při změnách směru větru působí na kormidlo síla, která způsobí točivý moment, který pootočí větrnou elektrárnu do požadovaného směru. Citlivost tohoto systému závisí na vzdálenosti kormidla od hřídele a na velikosti plochy kormidla.



Obr. 1.8 Natáčení rotoru pomocí kormidla [3]

1.4.2 Boční pomocné rotory

Boční pomocné rotory se používají pro větší rotory. Jsou v provedení pomocí jedné nebo dvou větrných růžic se svislou rovinou rotoru. Změní-li vítr směr, začnou se větrné růžice působením větru otáčet. Ty přes šnekový převod otáčejí celým větrným motorem [3].



Obr. 1.9 Natáčení rotoru pomocí bočních rotorů [3]

1.4.3 Natáčecí pomocné motory

Natáčecí motory se používají u velkých větrných elektráren, které jsou připojeny k síti. Systém je tvořen větrnou směrovkou, vyhodnocovacím zařízením a elektromotorem. Princip spočívá v tom, že směrovka ukazuje okamžitý směr větru a předá signál elektromotoru přes vyhodnocovací zařízení. Elektromotor poté nastaví rotor do požadovaného směru [2].



Obr. 1.10 Natáčení rotoru pomocí motorů [2]

1.5 Způsoby regulace výkonu větrného rotoru

Kvůli neustálé změně rychlosti nebo intenzitě větru se musí nějakým způsobem regulovat otáčky rotoru. Ve většině případů se rotor musí chránit proti překročení maximálních dovolených otáček, které by mohly způsobit poškození rotoru. Regulace otáček se dá provést trojím způsobem. Regulace Pitch (regulace natáčení listů), regulace Stall (pasivní) a regulace Stall (aktivní).

1.5.1 Regulace Pitch (regulace natáčení listů)

Tato regulace využívá natáčení celého listu rotoru podle okamžité rychlosti větru. Pokud je poryv větru příliš velký, listy rotoru se natočí lehce z větru. Jakmile vítr zeslábně, listy rotoru se opět natočí do větru. Rotor tedy musí být otočný kolem své podélné osy. Výhodou je vyšší účinnost, zejména při nižších rychlostech větru, kdy se regulace projeví nejvíce.

1.5.2 Regulace Stall (pasivní)

Listy rotoru jsou pevně spojeny k hlavě bez možnosti otáčení. Jsou z aerodynamického hlediska dimenzovány tak, že se při silném větru na odvrácené straně listů od větru vytváří turbulence. Dochází tím k odtržení proudu a snížení vztahové síly na poháněcí rotor. Výhoda této regulace je, že není zapotřebí pohyblivý díl u rotoru, který je ekonomicky drahý. Regulace Stall klade vysoké požadavky na aerodynamiku. Otázkou je, jak velký vliv mají na elektrárnu vibrace, které jsou vyvolány odtržením proudu a vyskytují se po celé větrné elektrárně.

1.5.3 Regulace Stall (aktivní)

Aktivní regulace Stall funguje podobně jako regulace „Pitch“, ale na rozdíl od ní se listy rotoru při dosažení jmenovitého výkonu otočí do protilehlého směru. To znamená, že se úhel nastavení zvýší a zesílí se odtržení proudu vzduchu. Tím se odvádí přebytečná energie větru. Výhodou je přesnější regulace než u pasivní regulace Stall a díky tomu nedochází k přetížení generátoru při poryvech větru. Aktivní regulace Stall se nachází především na velkých větrných elektrárnách od 1 MW a více [5].

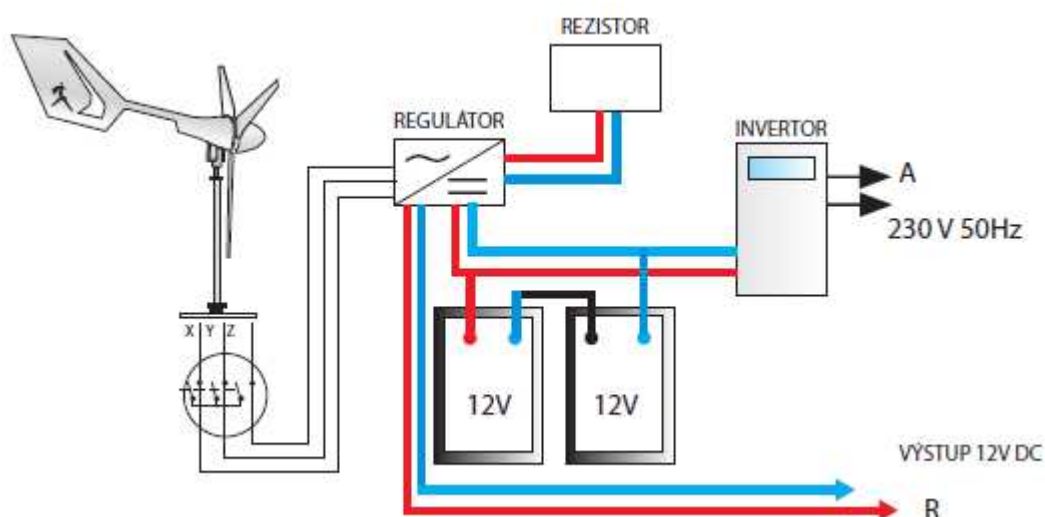
2 Provozní režimy větrných elektráren

Prvotně se větrná energie využívala k přeměně na mechanickou práci, v této době se využívá k přeměně na elektrickou energii. Střední a velké větrné elektrárny se výhradně využívají k dodávání elektrické energie do sítě. Malé větrné elektrárny se využívají k dodávání elektrické energie do odlehlých oblastí nepřipojených k rozvodné síti, neboli zapojené do ostrovního systému.

2.1 Ostrovní systém

Systémy, které nezávisí na rozvodné síti, jsou přezdívané jako „grid – off”. Ostrovní systémy se používají v místech, kde není možnost připojení k rozvodné síti. Např. chaty, telekomunikační zařízení, dopravní systémy, jachty, karavany a další. Zde se obvykle používají malé větrné elektrárny se jmenovitými výkony od 0,5 do 5 kW. Součástí ostrovního systému jsou i akumulátory a řídicí elektronika. Do objektu můžeme potom instalovat rozvod stejnosměrného proudu s nízkým napětím 12 nebo 24 V, nebo za použití střídače rozvádět střídavý proud s napětím 230 V.

Ostrovním systémem je tedy myšleno přímé využití elektrické energie v místě výroby a poté spotřeba uživatelem ve vlastní síti. Takto se elektrická energie využívá dvojím způsobem. Elektrická energie je akumulována do akumulátorů a následně využívána ke spotřebě v hladině napětí akumulátorů (stejnosměrné napětí 12, 24 nebo 48 V) nebo za použití měniče napětí je napětí akumulátorů transformováno na střídavé napětí 230 V.



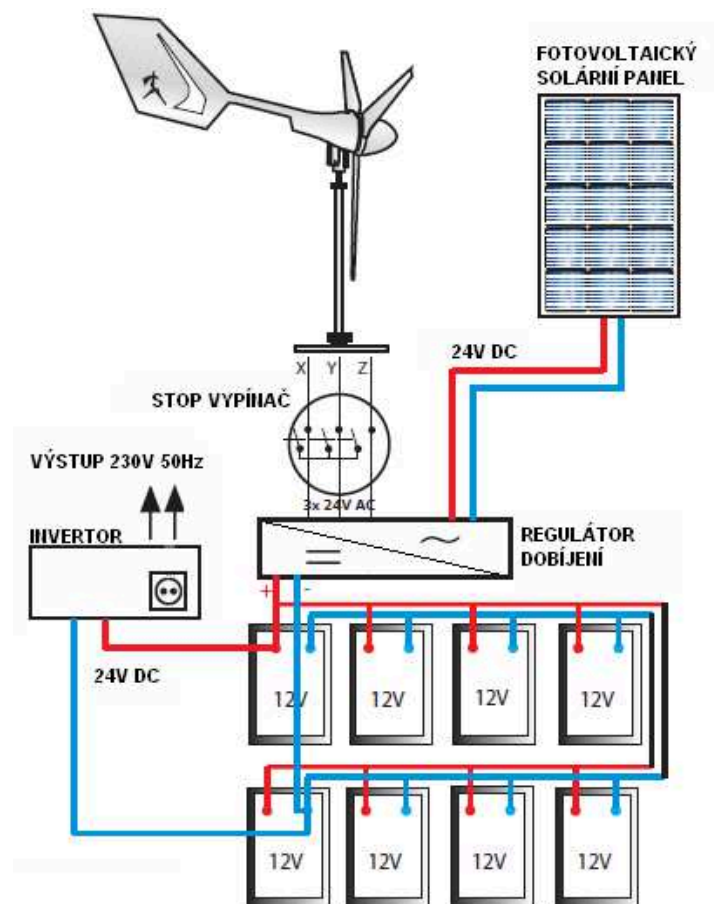
Obr. 2.1 Zapojení malé větrné elektrárny v ostrovním režimu [6]

První způsob je odebírání napětí z akumulátorů za použití regulátoru dobíjení, který hlídá jak maximální, tak i minimální předepsané napětí akumulátorů. Při dosažení maximální hladiny nabíjecího proudu v akumulátoru regulátor přesměruje energii do umělé zátěže, kterou tvoří

rezistor neboli odpor, nebo při efektivnějším využití použít přebytečnou energii pro vytápění nebo ohřev vody. Spotřebiče nejsou připojeny přímo na baterie, ale na regulátor, který zabezpečí jejich včasné odpojení a zamezí tak případnému poškození akumulátorů. Max. a min. hodnoty napětí akumulátorů jsou uvedeny od výrobce a liší se podle druhu baterie (olověné, alkalické, ...). Výhodou je jednoduché zapojení za použití malého počtu komponentů, tím se snižuje možnost poruchy, a také je výhodou bezpečné nízké napětí celé soustavy.

Za použití měniče napětí můžeme použít regulátory, které hlídají jen maximální napětí akumulátorů, protože podpětí hlídá sám měnič, který se automaticky odpojí při poklesu napětí na akumulátorech pod přípustnou mez. V zapojení s měničem je důležité dbát na dostatečný průřez vodičů od akumulátoru k měniči. Průřez vodiče je závislý na výkonu měniče. Vodiče by měly být co nejkratší, aby se eliminoval úbytek napětí ve vodiči. Výhodou zapojení s měničem je zapojení jakýchkoliv spotřebičů v hladině napětí 230 V [6].

- **Hybridní ostrovní systém**



Obr. 2.2 Zapojení hybridního systému s fotovoltaickými panely [6]

Hybridní systém se používá tam, kde je zapotřebí celoroční provoz, nebo za občasného používání přístrojů s vysokým příkonem. Proto se k ostrovnímu systému dávají záložní zdroje

elektřiny, které pokryjí spotřebu elektrické energie v období nedostatečné intenzity větru a při provozu zařízení s vysokým příkonem. Takovými zdroji může být elektrocentrála nebo fotovoltaické panely.

2.2 Systémy připojené k síti

Systémy dodávající energii do rozvodné sítě se nazývají „grid – on“. Tento systém je nejrozšířenější a používá se v oblastech s velkým větrným potenciálem. Takové větrné elektrárny můžeme využít dvojím způsobem. Buď větrnou elektrárnu připojíme do sítě a budeme ji využívat jako doplňkový zdroj nebo větrnou elektrárnu připojíme jen do sítě s účelem pro odprodej.

2.2.1 Větrná elektrárna jako doplňkový zdroj energie

Tento způsob zapojení se většinou využívá pro větrné elektrárny s výkonem vyšším než 5 kW. Elektřina vyrobená ve větrné elektrárně je pomocí regulačního zařízení přizpůsobena požadavkům spotřebičů. Je-li spotřeba elektrické energie v domácnosti větší než výroba, odebírá uživatel energii zároveň i ze sítě. Naopak když elektrárna vyrábí větší množství elektrické energie, než je majitel schopen spotřebovat, dodává elektrárna energii do sítě. Provozovatel pak vedle klasického elektroměru používá ještě jeden, který měří jeho dodávku z elektrárny do sítě. Rozvodným podnikům pak zaplatí případný rozdíl za množství energie určené jako odběr pro vlastní spotřebu a dodávkou elektřiny z větrné elektrárny do sítě.

2.2.2 Větrná elektrárna určená k prodeji elektřiny do sítě

Takový způsob zapojení se liší od toho předešlého v tom, že majitel větrné elektrárny dodává do sítě všechnu vyrobenou energii a sám ji nespotřebovává. Svoji spotřebu energie pokrývá odběrem ze sítě a platí ji stejně jako ostatní odběratelé. Zároveň však dostává zaplacení za elektřinu, kterou vyrobil pomocí větrné elektrárny a dodal ji do sítě. Jedná se výhradně pro komerční výrobu elektrické energie.

Podle platné legislativy je provozovatel místní elektrické sítě povinen elektřinu z větrné elektrárny odkoupit [7].

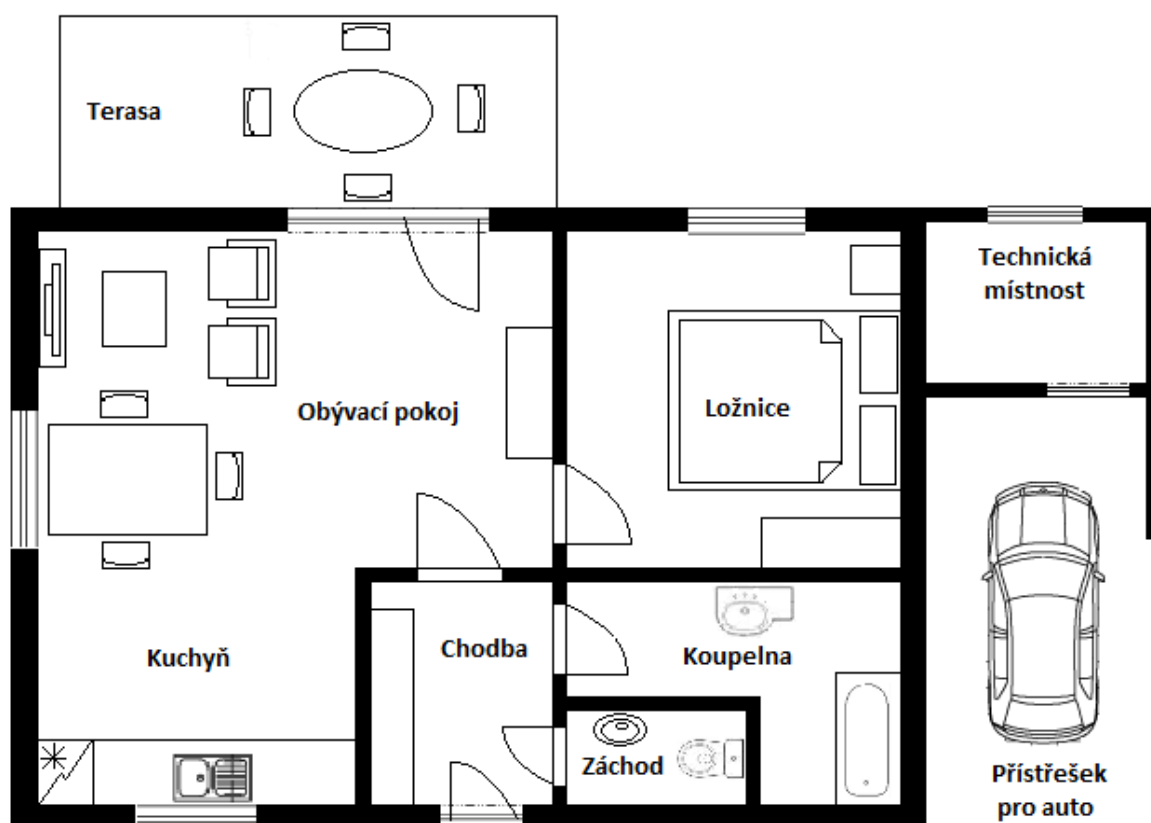
3 Návrh systému s větrnou elektrárnou pro napájení ostrovního systému

3.1 Návrh ostrovního systému větrné elektrárny

Pro návrh ostrovního systému je potřeba zmapovat danou lokalitu, aby bylo možné zvážit, jestli je výstavba větrné elektrárny vhodná. Důležité jsou povětrnostní podmínky a terén dané lokality. Kvůli případným turbulencím větru by se snižovala účinnost větru a účinnost celé větrné elektrárny. Potom by se muselo najít jiné vhodné místo nebo větrnou elektrárnu opatřit větším stožárem a umístit ji výše nad ráz krajiny čímž by se ale zvyšovaly náklady celého systému.

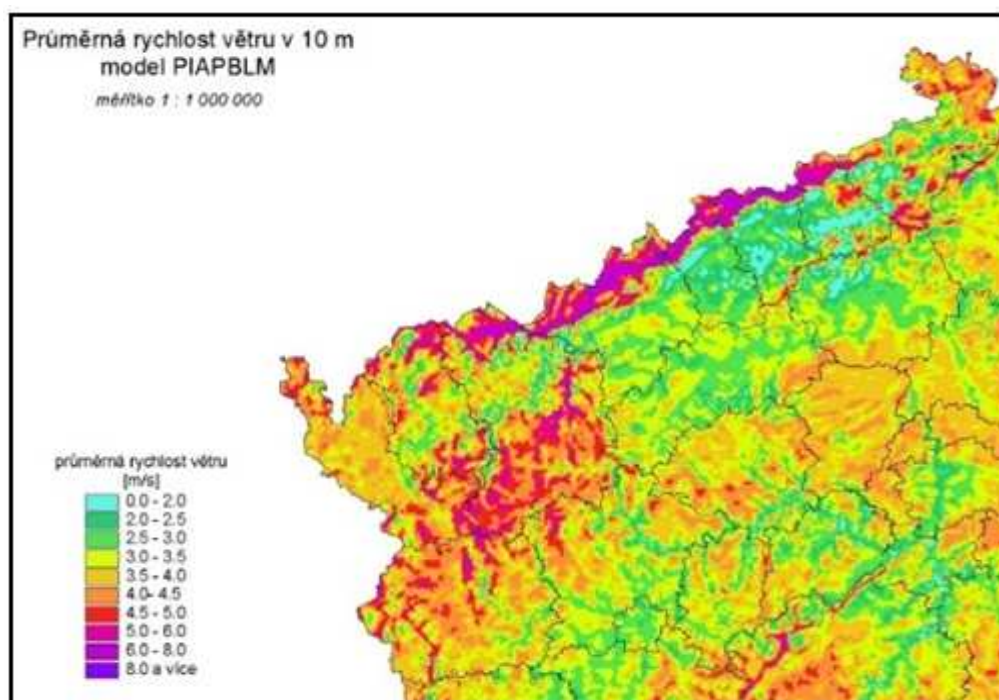
3.1.1 Popis daného místa výstavby malé větrné elektrárny

Návrh ostrovního systému se bude týkat malé horské chaty v oblasti Krušných hor. Chatu je nutno navrhnout v ostrovním systému, protože daná oblast není pokryta elektrizační sítí a její výstavba by byla příliš investičně nákladná.



Obr. 3.1 Náskres navrhované chaty

Chata se nalézá v dobře situované lokalitě Krušných hor na mýtině vzdálené od smrkového lesa asi 100 m se stromy asi 7 m vysokými. Větrná elektrárna bude 30 m od chaty a 130 m od nejbližšího vyrostlého stromu. Rotor bude ve výšce od 6 do 9 m nad zemí. Roční průměrná rychlost větru zde dosahuje přibližně $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Naměřená rychlost byla získána od ČHMÚ.



Obr. 3.2 Povětrnostní podmínky v severozápadní části České republiky [9]

3.1.2 Popis energetických požadavků chaty

Chata je využívána ve volném čase, tzn. o víkendech a svátcích. Je dimenzována pro dvě až čtyři osoby. Komplex chaty je tvořen obývacím pokojem s kuchyňským koutem vybaveným rychlovarnou konvicí, ledničkou a vařičem na plyn. Dále chodbou, sociálním zařízením, koupelnou, obývacím pokojem a sklepem. V každé místnosti jsou instalovány úsporné LED žárovky, jen v kuchyni je ještě zapojena trubicová zářivka. Vytápění chaty je řešeno krbem na tuhé palivo. Ve studni je instalováno ponorné vodní čerpadlo, které bude přivádět vodu jak na vaření, tak na sociální potřeby a do koupelny.

Pro danou chatu bylo zvoleno systémové napětí 24 V DC, které za pomoci měniče napětí bude transformováno na střídavé napětí 230 V 50 Hz. Celý systém bude pracovat v ostrovním provozu větrné elektrárny. Do objektu byly umístěny a nainstalovány spotřebiče svých jmenovitých příkonů, které byly zjištěny buď ze štítkových hodnot, nebo z katalogového listu.

Tab. 3.1 Rozmístění spotřebičů se svými příkony

Místnost	Spotřebiče	Příkon(W)	Počet (-)
Sklep	LED žárovka	10	2
Obývací pokoj	LED žárovka	10	4
	rádio	8	1
	notebook	65	1
	LCD televizor	0,2(Stand-by)	1
		55	
	set-top-box	1 (Stand-by)	1
		8	
Ložnice	LED žárovka	10	4
	stolní lampa	10	1
Kuchyně	trubicová zářivka	20	1
	rychlovarná konvice	1500	1
	chladnička A++	100 (0,32kW·h·den ⁻¹)	1
WC	LED žárovka	10	2
Chodba	LED žárovka	10	1
Koupelna	LED žárovka	10	2
Studna	vodní čerpadlo	200	1

3.1.1 Výpočet denní spotřeby elektrické energie všech spotřebičů v chatě

Byla provedena simulace chodu chaty za období jednoho dne a byla zjištěna doba provozu jednotlivých spotřebičů, která se však může měnit na okolnostech ročního období. Pro náš návrh jsme zvolily letní měsíc srpen, kdy doba pro svícení v chatě je malá, ale požadavek na vodu je větší než v zimních měsících. Při řešení byl brán průměrný příkon spotřebičů, protože u některých spotřebičů příkon nezávisí pouze na době jejich provozu, ale například u ledničky na teplotě okolí.

Spotřeba energie se vypočítá z příkonů spotřebičů a doby jejich provozu.

$$E_{\text{od}} = \sum P_n \cdot t_n \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \quad (3.1)$$

kde

E_{od} – průměrná očekávaná denní spotřeba el. energie spotřebičů

P - příkon spotřebičů

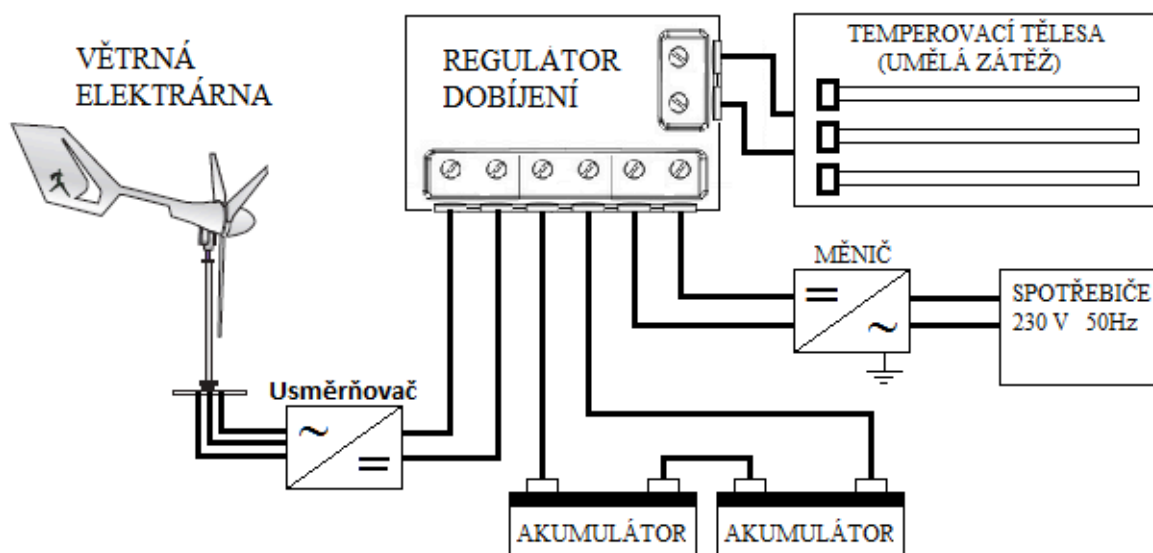
t - doba provozu spotřebičů

Tab. 3.2 Celková denní spotřeba el. energie v chatě

Místnost	Spotřebiče	Příkon (W)	Počet (-)	Doba průměrného denního provozu (h)	Denní spotřeba (W·h)
Sklep	LED žárovka	10	2	0,5	10
Obývací pokoj	LED žárovka	10	4	2	80
	rádio	8	1	4	32
	notebook	65	1	4	260
	LCD televizor	0,2 (Stand-by)	1	19	3,8
		55		5	275
	set-top-box	1 (Stand-by)	1	19	19
		8		5	40
Ložnice	LED žárovka	10	4	1	40
	stolní lampa	10	1	0,5	5
Kuchyně	trubicová zářivka	20	1	3	60
	rychlovarná konvice	1500	1	0,1	150
	chladnička A++	100 (0,32kW·h·den ⁻¹)	1	24	320
WC	LED žárovka	10	2	1	20
Chodba	LED žárovka	10	1	2	20
Koupelna	LED žárovka	10	2	2	40
Studna	vodní čerpadlo	200	1	2	400
Očekávaná denní spotřeba E_{od}					1774,8
Celkový příkon spotřebičů $P_C = 2016 \text{ W}$					

Celková průměrná roční spotřeba elektrické energie při průměrném pobytu v chatě 149 dní je 263,8 kW·h.

3.1.2 Sestava ostrovního systému větrné elektrárny



Obr. 3.3 Blokové uspořádání ostrovního systému

Pro ostrovní systémy se často využívají malé větrné elektrárny o výkonu 0,5 kW až 5 kW. Za 3 fázovým generátorem je můstkový usměrňovač, který usměrní střídavé napětí z generátoru na 24 V. Pro nabíjení a řízení akumulátorů se používá regulátor dobíjení, který hlídá jak maximální, tak i minimální předepsané napětí akumulátorů. Při dosažení maximální hladiny nabíjecího proudu v akumulátoru regulátor přeměňuje energii do umělé zátěže, kterou tvoří topná tělesa. V systému bude zapojený měnič napětí, který bude transformovat napětí 24 V na 230 V 50 Hz. Výhoda je v tom, že je možnost si z domu vzít jakékoliv spotřebiče, bez nutnosti nákupu spotřebičů, které mají jmenovité napětí 24 V, což u některých spotřebičů není ani možné. V návrhu ostrovního systému je uvažováno se systémovým napětím 24 V.

3.1.3 Určení účinnosti ostrovního systému větrné elektrárny

Systém nepracuje bezztrátově, ale se ztrátami. V každém zařízení vznikají ztráty, které se projevují tím, že elektrická energie, kterou z daného zařízení dostaneme, je menší, než energie, kterou do elektrického zařízení přivádíme. Ztracená energie se promění v nežádoucí teplo nebo na jiný druh energie. Se ztrátami v systému bude uvažováno.

Účinnost akumulátorů se pohybuje kolem 90 %. To znamená, že ztráty při nabíjení činí 10 %. Ztráta v regulátoru nabíjení se pohybuje kolem 4 - 8 %. Ztráty v kabelech, na svorkách a konektorech se pohybují kolem 1 - 3 %. Účinnost současných kvalitních měničů napětí je 85 - 90 %. Znamená to tedy, že 10 - 15 % celkově spotřebované energie jde na vnitřní spotřebu měniče (jedná se o tepelné ztráty). Na tyto ztráty bude brán při návrhu ohled.

Výpočet celkové účinnosti:

$$\eta_c = \eta_m \cdot \eta_{ak} \cdot \eta_v \cdot \eta_r \quad (-) \quad (3.2)$$

kde

η_c - celková účinnost

η_m - účinnost měniče

η_{ak} - účinnost akumulátorů

η_v - účinnost v rozvodu

η_r - účinnost regulátoru dobíjení

Po dosazení do rovnice 3.2 za neznámé dostáváme celkovou účinnost ostrovního systému:

$$\eta_c = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,94 = 0,74$$

Ostrovní systém bude pracovat s účinností 74 %. Zbýlých 26 % tvoří ztráty.

Výpočet celkové spotřeby elektrické energie:

$$E_{cd} = \frac{E_{od}}{\eta_c} \quad (W \cdot h) \quad (3.3)$$

kde

E_{cd} – průměrná celková denní spotřeba včetně ztrát

E_{od} – průměrná denní spotřeba beze ztrát

η_c – celková účinnost ostrovního systému

Po dosazení do rovnice 3.3 za neznámé dostáváme celkovou denní spotřebu včetně ztrát:

$$E_{cd} = \frac{1774,8}{0,74} = 2398,4 W \cdot h$$

Předpokládaná délka pobytu na chatě za rok je asi 110 dní, to znamená, že když bude každý den odebíráno stejné množství energie, za rok se spotřebuje $110 \cdot 2398,4 = 263,8 \text{ kW} \cdot h$ elektrické energie.

3.1.4 Výpočet potřebné kapacity akumulátorů

Při návrhu kapacity baterie se musí počítat s tím, že bude z baterií odebírána energie, i když baterie nebudou zrovna dobíjené. Může se stát, že nebudou dobíjené 3 až 4 dny, protože povětrnostní podmínky nebudou dostačující pro roztočení rotoru a výroby elektrické energie. Proto se navrhuje taková kapacita baterií, která bude napájet všechny spotřebiče bez dobíjení po několik

dnů, aby tak nedošlo k celkovému vybití baterií. Chata nebude využívána k celoročnímu provozu, kde by se muselo počítat s kapacitou akumulátorů, která postačí na napájení všech spotřebičů alespoň po dobu 6 dnů, ale k víkendovým a sezonním pobytům, kde kapacita akumulátorů stačí pro napájení všech spotřebičů po dobu 4 dnů.

Pro výpočet kapacity akumulátorů je potřeba znát dobu čerpání z akumulátorových baterií, to znamená, po jakou dobu bude třeba zajistit zásobu el. energie pro chatu. Dále je potřeba zjistit celkovou průměrnou denní spotřebu elektrické energie spotřebičů, napětí v navrhovaném ostrovním systému, účinnost akumulátorů a hloubku vybití akumulátorové baterie neboli maximální využitelnou kapacitu baterie. [24]

Výpočet kapacity akumulátorové baterie:

$$Q_A = \frac{T \cdot E_{cd}}{U_{SYS} \cdot k_v \cdot \eta_{ak}} \quad (\text{A} \cdot \text{h}) \quad (3.4)$$

kde

Q_A - teoretická kapacita akumulátorové baterie

T - doba čerpání z akumulátorových baterií

E_{cd} - průměrná celková denní spotřeba el. energie spotřebičů

U_{SYS} - systémové napětí

k_v - hloubka vybití akumulátorové baterie

η_{ak} - účinnost akumulátorů

Po dosazení do rovnice 3.4 za neznámé dostáváme výsledný vztah ve tvaru:

$$Q_A = \frac{4 \cdot 2398,4}{24 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 560 \text{ A} \cdot \text{h}$$

Výsledná kapacita akumulátorů pro čtyřdenní provoz chaty se spotřebou 2398,4 W·h za den činí 560 A·h.

3.1.5 Výpočet potřebného výkonu měniče napětí

Při návrhu výkonu měniče napětí je důležité vybrat měnič s vyšším výkonem, než je příkon spotřebičů. Většinou se doporučuje měnič napětí s výkonem 140 % příkonu spotřebičů, tím se prodlouží doba jeho životnosti, protože se nebude tolik zatěžovat a je taky dobré počítat s určitou rezervou pro spotřebiče potenciálně přidané v budoucnu.

Výpočet měniče napětí:

$$P_{MIN} = P_C \cdot 1,4 \quad (\text{W}) \quad (3.5)$$

kde

P_{MIN} - minimální doporučený jmenovitý výkon měniče napětí

P_{C} - celkový příkon spotřebičů

1,4 - doporučené navýšení výkonu měniče napětí na 140 % příkonu spotřebičů

Po dosazení do rovnice 3.5 za neznámé dostáváme minimální jmenovitý výkon měniče:

$$P_{\text{MIN}} = 2016 \cdot 1,4 = 2822,4 \text{ W}$$

To znamená, že pro návrh bude uvažováno o koupi měniče napětí o výkonu 3 kW.

3.1.6 Výběr malé větrné elektrárny pro ostrovní systém

Při výběru větrné elektrárny jsou zohledněny co nejmenší investiční náklady a dostatečný výkon na pokrytí energetických nároků chaty. Při výběru větrné elektrárny nelze brát v úvahu pouze nominální výkon. Vzhledem k tomu, že výkon větrné elektrárny roste i klesá s třetí mocninou rychlosti větru, je velice důležitá hodnota nominální rychlosti větru, ke které se výkon váže. Například tři turbíny od různých výrobců se stejným výkonem 1 kW udávaným pro nominální rychlosti větru 8, 10 a 12 m·s⁻¹ budou mít při skutečné rychlosti větru 8 m·s⁻¹ výkon přibližně 1 kW, 520 W a 310 W.

Celková roční průměrná spotřeba v chatě je 263,8 kW·h, to je přibližně 723 W·h za den. Za 24 hodin stálého provozu, při průměrné rychlosti větru 5 m·s⁻¹, vyrobí tuto energii větrná elektrárna s výkonem 400 W při nominální rychlosti větru 10 m·s⁻¹. Je však brán v úvahu poměr větrných a bezvětrných dnů, bude uvažováno s poměrem 1/4. To znamená, že za jeden větrný den musí větrná elektrárna vyrobit tolik energie, která bude stačit pro čtyřdenní provoz chaty. V navrhovaném případě musí být větrná elektrárna schopná vyrobit za jeden den 2892 W·h. S uvažováním roční průměrné rychlosti bude stačit větrná elektrárna, která bude dodávat výkon 200 W při rychlosti větru 5 m·s⁻¹. Výkon větrné elektrárny se udává při nominální rychlosti větru, kterou má každá větrná elektrárna jinou. Například nám bude stačit větrná elektrárna s výkonem 1,2 kW při nominální rychlosti větru 10 m·s⁻¹, která při rychlosti větru 5 m·s⁻¹ dodává výkon 280 W.

3.1.7 Výběr regulátoru dobíjení

Regulátory dobíjení slouží pro řízené dobíjení a ochranu akumulátorů. Vhodný regulátor dobíjení bude zvolen podle pracovního (nominálního) napětí v systému, podle typu akumulátoru, proměnlivosti teploty v okolí akumulátoru, podle proudového výkonu větrné elektrárny, celkového příkonu elektrospotřebičů a podle nároků na automatizaci obsluhy.

Dále regulátor dobíjení zajišťuje řadu funkcí, které ochraňují akumulátory:

- ochrana proti přebíjení

- ochrana před hlubokým vybitím připojenými elektrospotřebiči
- nadproudová ochrana
- ochrana před trvalým přetížením výstupním proudem
- ochrana před přepólováním akumulátoru

Regulátor dobíjení je vhodné vybírat s dostatečnou rezervou pro případné rozšiřování výkonu. V návrhu bude použit regulátor na systémové napětí 24 V. Výkon regulátoru musí odpovídat výkonu větrné turbíny. Do systému jsem navrhnul větrnou elektrárnu o výkonu 1,2 kW, regulátor bude mít tedy výkon 1,2 kW [10].

3.1.8 Vytvoření umělé zátěže

Regulátor dobíjení, který hlídá dobíjení akumulátoru, zároveň hlídá větrnou elektrárnu, která musí pracovat pouze v zatíženém stavu. Znamená to, že pokud budou akumulátory na 100 % nabité, musí se energie někde přeměňovat, nebo se musí zastavit větrná elektrárna. Regulátor to řeší tak, že přeměňuje vyrobenou elektrickou energii z větrné elektrárny do umělé zátěže. Příkon umělé zátěže je vypočtená podle výkonu větrné elektrárny a jejího výstupního napětí. Umělá zátěž bude topné těleso, které bude temperovat a částečně vyhřívat daný prostor v místě instalace.

Temperovací tělesa jsou určena k přitápění a temperování nejrůznějších objektů. Tato topná tělesa jsou vyrobena z masivní mědi a hodí se do vlhkého prostředí. V chatě budou využívána k ochraně vodního čerpadla proti zamrznutí a v místnostech, kde by mohlo dojít k vlhnutí a promrzání zdí chaty. Tím zabráníme vzniku plísní a bakterií [8].

Tab. 3.3 Průměrná denní spotřeba elektrické energie temperovacích těles

Místnost	Příkon (W)	Počet (-)	Denní spotřeba (kW·h)
Obývací pokoj	40	2	1,92
Ložnice	40	1	0,96
	25	1	0,6
Kuchyně	40	1	0,96
	25	1	0,6
WC	25	1	0,6
Koupelna	40	1	0,96
	25	1	0,6
Studna (čerpadlo)	25	1	0,6
Celková denní spotřeba			7,8

Příkon umělé zátěže se odvíjí od výkonu větrné elektrárny a jejího výstupního napětí. Při průměrné rychlosti větru $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ vygeneruje větrná elektrárna za den 6720 W·h. Tuto energii

přesměruje regulátor dobíjení do umělé zátěže, za předpokladu, že budou baterie plně nabité. Takže zátěž musí být schopna za den spotřebovat přinejmenším 6720 W·h elektrické energie. Protože výkon větrné elektrárny roste i klesá s třetí mocninou rychlosti větru, větrná elektrárna vyrobí v některých dnech více elektrické energie než je průměr, proto se musí hodnota zátěže správně naddimenzovat. Zátěž bude naddimenzována o 17 % průměrné denní výroby větrné elektrárny, tedy na 7,8 kW. Z toho vyplývá, že umělou zátěž budou tvořit temperovací tělesa o příkonu 325 W.

3.1.9 Volba záložního zdroje elektrické energie

Záložní zdroj elektrické energie slouží jako záloha pro větrnou elektrárnu, když nebudou vhodné podmínky pro provoz větrné elektrárny, tj. za silného větru, kdy by mohlo dojít k jejímu poškození, nebo za bezvětří, kdy síla větru nedosáhne pracovní rychlosti větru větrné elektrárny. V návrhu je uvažováno o celoročním průměru rychlosti větru, musí se však uvažovat i o situaci, kdy nebude například 14 dní dostatečná rychlost větru a systém se může ocitnout zcela bez energie. Aby se tomu zabránilo, zařadí se do systému záložní zdroj elektrické energie.

Záloha by mohla být realizována za pomoci PV modulů, se kterými by se zvýšil instalovaný výkon, a byla by to nejlepší varianta zálohy. Střecha chaty však není vhodná k umístění PV modulů. Plocha střechy chaty je příliš malá na případný požadovaný instalovaný výkon PV modulů a tudíž nevyhovující. Pozemek kolem chaty je obhospodařován výsadbou, je tedy také nevhodný. Druhá varianta zálohy je za pomoci elektrocentrály. Tato varianta může být finančně daleko efektivnější, nežli navyšovat výkon a počet akumulátorů, a vždy připravena se zapnout jako záloha elektrické energie. Pro můj návrh by měla postačit elektrocentrála o výkonu 2 kW.

3.2 Průzkum trhu pro ostrovní systém větrné elektrárny

Na trhu je celá řada firem, které nabízejí malé větrné elektrárny s velkým výkonem vhodné pro napájení chaty či rodinného domku. Některé firmy pracují jen formou prodávajícího, ale jsou i firmy, které pracují na kompletní realizaci. Firma projedná s investorem typ a výkon větrné elektrárny, kapacitu zdroje, typ měniče a další důležité aspekty. Po dohodnutí obou stran na realizaci ostrovního systému firma vše dodá na zakázku a většinou provede i samotnou montáž.

3.2.1 Výběr větrné elektrárny

Energy ForEver s.r.o.

Energy ForEver s.r.o. je rozvíjející se společnost, která se zabývá problematikou využívání OZE jako energetické alternativy, respektive doplňku, ke konvenčnímu centralizovanému systému energetiky. Pro realizaci systémových řešení zásadně používají komponenty vysoké technické úrovně a kvalitního zpracování, které získávají prostřednictvím sítě obchodních partnerů.

Profilují se jako velmi flexibilní a zákaznicky orientovaná společnost se značným technickým, technologickým a inovačním potenciálem. Aktivně sledují nové vývojové trendy, které uplatňují v řešeních nabízejících zákazníkům. [11]



Obr. 3.4 Aeolos 500W Streetlight [12]

Firma nabízí také tyto obory činnosti:

- Projektování, realizační a administrativní činnost v oblasti komplexních dodávek obnovitelných zdrojů energie
- Projekce a realizace fotovoltaických elektráren na střechách rodinných domů, průmyslových objektů a chat
- Ochrana budov před bleskem, realizace hromosvodů
- Prodej fotovoltaických elektráren, malých větrných elektráren a solárních systémů [11]

Tab. 3.4 Parametry větrné elektrárny Aeolos 500W Streetlight [12]

Aeolos 500W Streetlight	
Nominální výkon	500 W
Nominální rychlost větru	$6,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Rozběhová rychlost	$2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Max. rychlost větru	$55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Průměr rotoru	1,7 m
Výstupní napětí	24V DC
Systém ochrany	Automatická ochrana Brzdový systém
Hmotnost	19,7 kg

Spirit s.r.o.

Firma Spirit s.r.o. se zabývá problematikou obnovitelných zdrojů energie. Je dodavatelem větrných elektráren a příslušenství. Realizuje kompletní návrh systému s větrnou elektrárnou.



Obr. 3.5 WCW 1600 [13]

Elektrárna je osazena 9 listy, které samy regulují svoji rychlost při extrémním větru a jejich aerodynamický tvar zabezpečuje maximální výkon. Je odolná vůči dešti, sněhu a ledu. Je vhodná pro instalaci na střeších průmyslových budov, rodinných domů a na stožárech. Je vhodným zdrojem výroby elektrické energie pro ostrovní systémy. [13]

Tab. 3.5 Parametry větrné elektrárny WCW 1600 [13]

Větrná elektrárna WCW 1600	
Jmenovitý výkon	1600W
Generátor s permanentními magnety	
Jmenovitá rychlost větru	10m·s ⁻¹
Rozběhová rychlost	1,8m·s ⁻¹
Max. rychlost větru	40m·s ⁻¹
Výstupní napětí	12, 24 a 48V DC
Hmotnost	21kg

AERPLAST s.r.o.

Firma AERPLAST má patnáctiletou zkušenost ve vývoji a výrobě malých větrných elektráren. Jsou výrobci a dodavatelé malých větrných elektráren a hybridních ostrovních zdrojů, zdrojů pro ohřev vody i dodávku elektrické energie do veřejné sítě.

Ukončené projekty:

- Návrh a výroba větrných elektráren pro českou vědeckou stanici v Antarktidě
- Výroba větrné elektrárny pro vědeckou stanici v Kyrgistánu [14]



Obr. 3.6 AP 1200 [15]

Větrná elektrárna má v sobě zabudovaný 3 fázový synchronní generátor s permanentními magnety. Přenos energie z větrné elektrárny je veden ve střídavém napětí z důvodu proudových ztrát v kabelu. Usměrnění nastává až v regulátoru dobíjení, který obsahuje můstkový usměrňovač.

Tab. 3.6 Parametry větrné elektrárny AP 1200 [15]

Větrná elektrárna AP 1200	
Jmenovitý výkon	1200W
Jmenovitá rychlost větru	$10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Rozběhová rychlost	$3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Max. rychlost větru	$50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Plocha rotoru	$8,0 \text{ m}^2$
Výstupní napětí	24V DC
Systém ochrany	vytočení
Hmotnost	40kg

3.2.2 Výběr regulátoru dobíjení

Výběr regulátoru dobíjení se odvíjel od výběru větrné elektrárny. Pro návrh byla zvolena větrná elektrárna AP 1200 se synchronním generátorem o jmenovitém výkonu 1,2 kW od firmy AERPLAST s.r.o.



Obr. 3.7 Regulátor BPWC10-24 [22]

Regulátor byl vybrán od firmy „Plance.cz“, která se zabývá problematikou obnovitelných zdrojů energie a je dodavatelem větrných a solárních elektráren. V regulátoru BPWC10-24 je 3 fázový můstkový usměrňovač, pro usměrnění, 3 fázového napětí z větrné elektrárny, na 24 V DC. [21,22]

Tab. 3.7 Technické parametry regulátoru [22]

Regulátor BPWC10-24	
Výkon regulátoru	1,2kW
Výkon větrné elektrárny	1 – 1,5kW
Jmenovité napětí baterie	24V
Chlazení	Ventilátorem
Pracovní teplota	- 20 ~ 55 °C
Pracovní vlhkost	35-90%
Režim zobrazení	LCD

3.2.3 Výběr měniče napětí

Měnič od firmy „Ostrovni elektrárny.cz“. Prodávají komponenty ostrovních fotovoltaických elektráren a na přání je také instalují, včetně dodávek na klíč.



Obr. 3.8 Ostrovní měnič napětí [16]

Ostrovní (off-grid) měnič napětí s čistě sinusovým výstupním napětím s výstupním výkonem 3000 W slouží pro citlivá zařízení a náročné aplikace. Měnič napětí z 48V DC na 230 V AC, zkreslení pod 3 %. [16]

Tab. 3.8 Technické parametry měniče [16]

TECHNICKÉ PARAMETRY TS-3000-224B	
vstupní napětí	21-30 V DC
výstupní napětí	230 V 50 Hz
jmenovitý výkon	3000 W
vysoká účinnost	do 92 %
odběr (stand-by)	<10 W
hmotnost	12,9 kg

3.2.4 Výběr baterií

Akumulační baterie od firmy „Plance.cz“. Pro akumulaci byly zvoleny FAG VRLA akumulátory o kapacitě 150 A·h a napětí 12 V. Aby bylo dosaženo minimální kapacity baterie 560 A·h a napětí 24 V, použijí čtyři články tak, že dvakrát dva články sériově k sobě zařadím paralelně. [17]



Obr. 3.9 FAG VRLA akumulátory [17]

FAG VRLA akumulátory jsou nové gelové baterie s kapacitou od 26 A·h do 200 A·h a napětím 6 a 12 V. Tato baterie nabízí patnáctiletou životnost. Obsahuje čelní přístup pro rychlou a snadnou instalaci a údržbu. Tento typ baterií je velmi vhodný pro venkovní aplikace, telekomunikační systémy obnovitelných zdrojů energie a jiná drsná prostředí aplikace. Má široký rozsah provozních teplot od -15 °C až 60 °C a nízké samovybíjení a dlouhou trvanlivost (1 rok při 25 °C). Vynikající je schopnost regenerace po hlubokém vybíjení. Baterie obsahuje elektrolyt, který tvoří zředěnou a vysoce čistou kyselinu sírovou s nano gelem. [17]

3.2.5 Výběr temperovacích těles pro umělou zátěž

animaconcert s.r.o.

Firma se zabývá výrobou a distribucí topných i temperovacích těles s baktericidními účinky.



Obr. 3.10 Temperovací těleso [18]

Tab. 3.9 Technické údaje temperovacího tělesa [18]

Technické údaje	
Tepelný výkon	15 W, 25 W, 40 W, 60 W
Napájecí napětí	230 V AC / 50 Hz
Napájecí napětí tělesa	12 V DC

3.2.6 Výběr elektrocentrály

Firma „Namir“ je na trhu od roku 2004 a zaměřuje se na prodej zahradní techniky, elektronické nářadí a doplňky do zahrady a do domácnosti. [19]



Obr. 3.11 Elektrocentrála benzínová SH 2200 [20]

Elektrocentrála značky Sharks je k uplatnění pro stavby, zahrady na venkově, chatky, na lodi nebo v karavanech. Tato elektrocentrála, která je vybavena napájením s automatickou regulací napětí AVR, si poradí s napájením elektrospotřebičů odporového (např. kávovary), ale také indukčního typu (jako el. nářadí, čerpadla atd.).

Tab. 3.10 Technické parametry elektrocentrály [20]

Elektrocentrála benzínová SH 2200	
Jmenovitý výkon	2,2 kW
1 válcový, 4 taktní benzínový motor	
Objem nádrže	15 l
Jištění	10 A
Doba chodu při průměrném zatížení	11 h
Výstupní napětí	2x zásuvka 230 V/50 Hz
Spotřeba	0,5 l·(kW·h) ⁻¹
Hmotnost	40 kg

4 Závěrečné zhodnocení efektivnosti využití větrné elektrárny

Cílem této kapitoly je ekonomická úvaha a výpočet doby návratnosti pro výstavbu ostrovního systému v porovnání s vybudováním klasické síťové přípojky pro napájení chaty.

4.1 Investiční náklady

Investiční náklady pro ostrovní systém

Celkové investiční náklady na ostrovní systém byly vypočítány jako součty jednotlivých dílčích nákladů. Náklady na provoz nejsou v celé délce životnosti ostrovního systému stejné a rostou s délkou jeho provozu. Investiční náklady celého ostrovního systému byly 182433 Kč. Popis jednotlivých položek je vidět v tabulce Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Investiční náklady na zařízení v ostrovním systému

Seznam zařízení pro ostrovní systém		
Zařízení	Firma	Cena (Kč)
Větrná elektrárna	Aeplast s.r.o.	*59000
Stožár 6 m	Aeplast s.r.o.	24500
Regulátor dobíjení	Plance.cz	14762
Měnič napětí	Ostrovní-elektrárny.cz	27600
Baterie	Ostrovní-elektrárny.cz	31200
Kabel vedení, 4mm ²	DNA Group s.r.o.	2000
Elektrocentrála	Namir	6431
Temperovací tělesa	Animaconcert s.r.o.	16940
Celková cena investičních nákladů $N_{\text{CNI}} = 182433$ Kč		

* v ceně je započítaná cena generátoru a rotoru

V nákladech na provoz ostrovního systému jsou obsaženy náklady na provoz, údržbu a kontrolu jednotlivých částí celého ostrovního systému. Cena nákladů na provoz se odhaduje přibližně na 2000 Kč za rok. V této ceně jsou obsaženy náklady na údržbu baterií, práci dělníka a jiné. Celkové náklady na údržbu jsou uvažovány v rozmezí jednoho roku.

Celková cena nákladů na ostrovní systém byla vypočítána z celkové ceny pro ostrovní systém a z variabilních nákladů pro provoz.

$$N_{OS} = N_{ZA} + N_{PRO} \cdot n \quad (4.1)$$

kde

N_{OS} – jsou celkové náklady na ostrovní systém

N_{ZA} – jsou náklady za zařízení na ostrovní systém

N_{PRO} – jsou náklady pro provoz na ostrovní systém

Po dosazení do rovnice 4.1 za neznámé dostáváme výsledný vztah ve tvaru:

$$N_{OS} = 182433 + 2000 \cdot n$$

kde n je doba provozu zařízení. [25]

Investiční náklady na připojení k distribuční soustavě

Náklady na připojení k distribuční soustavě jsou tvořeny hlavně náklady na vybudování síťové přípojky, náklady spotřeby elektrické energie a vybudování rozvaděče. Cena za vybudování síťové přípojky je tvořena za výkopové práce a cena za přívodní kabel. Cena byla stanovena na přibližnou hodnotu 500 Kč za metr. Pro ekonomické zhodnocení byla délka přípojky stanovena na 300 m. Cena za vybudování rozvaděče byla odhadnuta na 25 000 Kč.

Celková roční spotřeba elektrické energie ze sítě je dána průměrnou spotřebou za den tj. přibližně 1775 W·h a počtem dní pobytu v chatě, který byl odhadnut na 149. Potom celková roční spotřeba byla 263,8 kW·h. Pro další výpočty byla použita sazba Standard D02d od společnosti ČEZ. Se změnou ceny není při výpočtu uvažováno, veškeré výpočty jsou prováděny v cenách platných pro rok 2013.

Celkové náklady na vybudování přípojky včetně odběru z distribuční soustavy vyjádříme:

$$N_{CEL} = N_{VPRI} + N_{EL} + N_{ROZ} \quad (4.2)$$

kde

N_{CEL} – jsou celkové náklady na připojení k distribuční síti

N_{VPRI} – jsou náklady na vybudování přípojky

N_{EL} – jsou náklady na spotřebu elektrické energie z distribuční soustavy

N_{ROZ} – jsou náklady na rozvaděč

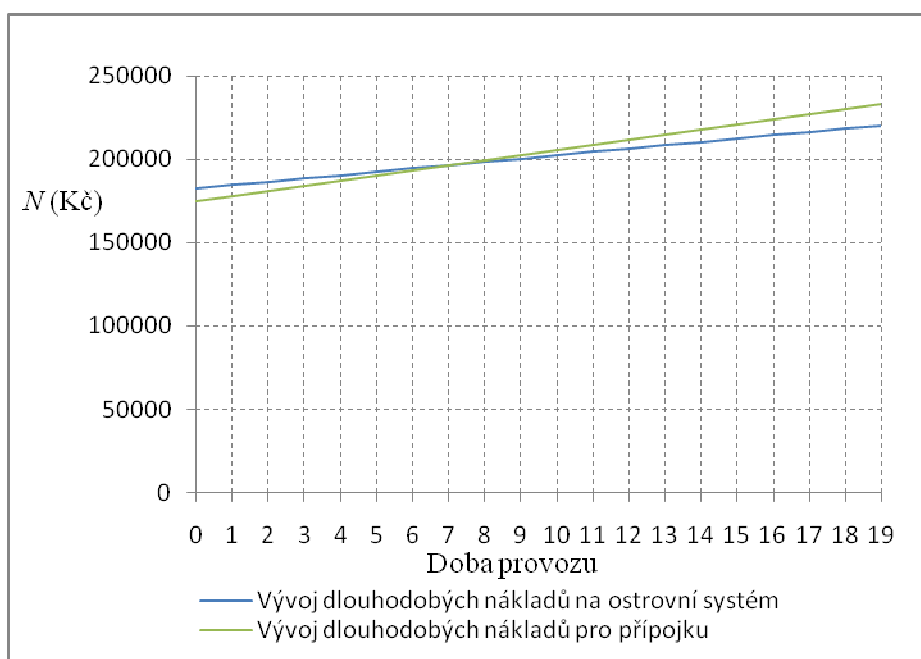
Po dosazení do rovnice 4.2 za neznámé dostáváme výsledný vztah ve tvaru:

$$N_{CEL} = 500 \cdot d + 3065,32 \cdot n + 25000$$

kde d je délka přípojky. [25]

4.2 Srovnání napájecích systémů pro chatu

Ekonomická analýza porovnává dvě varianty pro napájení chaty v Krušných horách. První varianta se zabývá možností vybudování ostrovního systému pomocí větrné elektrárny. Prvotní investiční náklady na ostrovní systém s větrnou elektrárnou činil 182 433 Kč. Náklady jsou tvořeny z ceny za větrnou elektrárnu, regulátoru dobíjení, akumulčních baterií, umělé zátěže a měniče napětí. Druhá varianta uvažovala s výstavbou elektrické přípojky do chaty a odebírání elektrické energie z distribuční soustavy. Náklady na vybudování přípojky činily 175 000 Kč. Cena se skládá z nákladů na vybudování rozvaděče a na vybudování přípojky. Cena za vybudování přípojky dlouhé 300 m byla 150 000 Kč a cena za rozvaděč 25 000 Kč.



Graf 4.1 Vývoj ceny nákladů po dobu provozu 19 let

Z ekonomické analýzy vyplývá, že investice do ostrovního systému jsou oproti vybudování přípojky pro chatu ekonomicky výhodnější. Prvotní pořizovací cena na přípojku je sice menší, ale v 6. roce se již vyrovná nákladům pro ostrovní systém. Do šesti let provozu ostrovního systému se nám výše nákladů v porovnání s přípojkou vrátí a od šestého roku provozu začne být ostrovní systém levnějším zdrojem elektrické energie nežli přípojka.

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout ostrovní systém pro napájení odlehlé chaty v Krušných horách, přičemž jako zdroj elektrické energie byla využita větrná elektrárna. V práci byly popsány jednotlivé části a funkční celky větrných elektráren se zaměřením na ty části, které byly důležité pro návrh ostrovního systému v dané lokalitě. Ostrovní systém se skládá z jednotlivých zařízení, pro které byl proveden průzkum trhu.

Pro návrh ostrovního systému pro chatu v místě Krušných hor byla zadána jako zdroj elektrické energie malá větrná elektrárna. Povětrnostní podmínky jsou pro stavbu větrné elektrárny v této lokalitě velmi vhodné. Četnost rychlosti větru zde během roku překonala hodnotu $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Při návrhu ostrovního systému bylo třeba počítat s velkou úsporou energie, proto jsou vybírány spotřebiče s nízkou energetickou náročností. Průměrná celková spotřeba elektrické energie v chatě za jeden den včetně ztrát činí $2398,4 \text{ W} \cdot \text{h}$. Tato spotřeba je hrazena z 90 % větrnou elektrárnou. Zbylou část 10 %, kterou větrná elektrárna není schopna pokrýt kvůli nepříznivým provozním podmínkám, vygeneruje elektrocentrála. Kapacita akumulární baterie byla navrhována pro 4 denní spotřebu v chatě vzhledem k možným nízkým povětrnostním podmínkám. Pro 4 denní spotřebu byla navržena kapacita akumulátorů $560 \text{ A} \cdot \text{h}$. Pro 1fázové spotřebiče na 230 V 50 Hz byl do systému přidán měnič napětí o výkonu 3 kW , který je naddimenzován o doporučených 40 % příkonu všech spotřebičů, kvůli namáhání měniče a pro možnost zapojení dalšího neuvažovaného spotřebiče. Navrhovaný výkon větrné elektrárny se odvíjel od roční průměrné rychlosti větru $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a 4denní průměrné spotřeby v chatě, která je $2892 \text{ W} \cdot \text{h}$. To znamená, že minimální výkon větrné elektrárny při průměrné rychlosti $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ musí být 200 W . Těmto podmínkám vyhověla větrná elektrárna AP 1200 od firmy AERPLAST s.r.o. o výkonu $1,2 \text{ kW}$ a výstupním napětí 24 V , která při průměrné rychlosti větru $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ má výkon 280 W . Tato větrná elektrárna byla vybrána na základě požadovaného výkonu a dobré ceny v poměru za výkon. Výběr regulátoru nabíjení je úzce svázán v parametrech větrné elektrárny. Byl vybrán regulátor o výkonu $1,2 \text{ kW}$ a systémovém napětí 24 V . Posledním navrhovaným zařízením v ostrovním systému byla umělá zátěž, která spotřebovává přebytečnou energii v době, kdy jsou akumulátory na 100 % nabité. Umělá zátěž je tvořena temperovacími tělesy, která zabraňují provlhnutí a promrznutí chaty. Temperovací tělesa o příkonu 325 W mají denní spotřebu $7,8 \text{ kW} \cdot \text{h}$. Při průměrné rychlosti větru $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ vyrobí větrná elektrárna za den $6,72 \text{ kW} \cdot \text{h}$. To znamená, že temperovací tělesa mají dostatečný příkon pro spotřebu veškeré přebytečné energie z větrné elektrárny, když budou baterie plně nabité.

Při průzkumu trhu firem zabývajících se prodejem větrných elektráren a zařízení pro realizaci ostrovního systému byly zjištěny parametry jednotlivých jejich produktů a byla vybrána

zařízení, která odpovídala návrhu ostrovního systému. Výběr zařízení pro ostrovní systém se tedy odvíjel od vypočítaných a navržených parametrů a neposlední řadě ceny zařízení.

Vypracovaná ekonomická analýza porovnává dvě varianty pro napájení chaty v Krušných horách. První variantou byl vypracovaný návrh ostrovního systému, jehož prvotní investiční náklady činily 182 433 Kč. Investiční náklady druhé varianty, která se zabývá možností vybudování elektrické přípojky, byly 175 000 Kč. Ekonomická analýza prokázala, že investice do ostrovního systému jsou oproti vybudování přípojky pro chatu ekonomicky výhodnější. Pořizovací cena na ostrovní systém je sice větší, ale do šesti let provozu ostrovního systému se nám výše nákladů vrátí a od šestého roku provozu začne být ostrovní systém ekonomicky výhodnějším řešením v porovnání s napájením z nadřazené distribuční soustavy prostřednictvím elektrické přípojky.

Na základě zmíněných výsledků je možné závěrem říci, že v dnešní době snaha o využití obnovitelných zdrojů elektrické energie roste, protože jde o ekonomicky výhodnou investici. Jde o snahu veřejnosti osamostatnit se od závislosti na distribuční síti v důsledku stále rostoucích cen za elektrickou energii.

6 Seznam použité literatury

[1] Automatizace, online magazín, [online]c2006, [cit.2011-10-17]

Dostupný na World Wide Web:< <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006102901>>.

[2] KOLEKTIV AUTORŮ pod vedením časopisu Elektro. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Nakladatelství FCC PUBLIC, s.r.o., 1994. 176 s.

[3] RYCHETNÍK, V.; PAVELKA, J.; JANOUŠEK, J. Větrné motory a elektrárny. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1997. 199 s. ISBN 80-01-01563-7.

[4] CHMELÍK, K. Asynchronní a synchronní elektrické stroje. Ostrava: VŠB-TU, 2002. 135 s. ISBN 80-248-0025-X.

[5] W.E.B větrná energie [online]c2008, [cit. 2011-10-27] **Dostupné z World Wide Web:**
< http://www.vetrna-energie.cz/energie-zivlu/vetrna-energie_9/systemy-regulace_27/>.

[6] Udrzitelnost.cz [online]c2009, [cit. 2011-11-14] **Dostupné z World Wide Web:**
< http://udrzitelnost.cz/soubor2.php?s=mve_v_ostrovnim_provozu.pdf >.

[7] Hnutí DUHA [online]c2002, [cit. 2011-11-16] **Dostupné z World Wide Web:**
<http://hnutiduha.cz/uploads/media/jak_vyuzivat_oze.pdf>.

[8] Heisse Röhre® [online]c2008, [cit. 2011-12-20] **Dostupné z World Wide Web:**
<<http://www.heisserohre.eu/PAGES/temperHR60.htm>>.

[9] ÚFA AVČR [online]c2011, [cit. 2011-12-20] **Dostupné z World Wide Web:**
<<http://www.ufa.cas.cz/web-old/vetrna-energie/doc/vav/priloha14a.jpg>>.

[10] Micronix [online]c2009, [cit. 2013-03-20] **Dostupné z World Wide Web:**
<<http://www.micronix.cz/solarix/zakladni-informace/regulatory-dobijeni>>.

[11] Energy ForEver s.r.o. [online]c2010, [cit. 2013-3-25] **Dostupné z World Wide Web:**
<<http://energyforever.cz/cz/o-spolecnosti/>>.

[12] Energy ForEver s.r.o. [online]c2010, [cit. 2013-3-25] **Dostupné z World Wide Web:**
<<http://energyforever.cz/cz/sluzby/vetrne-elektrarny/mikro-vetrne-elektrarny/>>.

[13] Spirit s.r.o. [online]c2012, [cit. 2013-3-25] **Dostupné z World Wide Web:**
<<http://www.energievetrem.cz/elektrarny.html>>.

- [14] AERPLAST s.r.o. [online]c2013, [cit. 2013-3-25] **Dostupné z World Wide Web:**
<http://www.vetrne-elektrarny.eu/o_spolecnosti>.
- [15] AERPLAST s.r.o. [online]c2013, [cit. 2013-3-25] **Dostupné z World Wide Web:**
<<http://www.vetrne-elektrarny.eu/ap1200>>.
- [16] Ostrovní-Elektrárny.cz [online]c2013, [cit. 2013-3-25] **Dostupné z World Wide Web:**
<http://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=menice-dc-ac&detail=NTAwMDU=&detail_name=menic-meanwell-ts-3000-224b-3000w-sinus>.
- [17] Plance.cz [online]c2013, [cit. 2013-4-14] **Dostupné z World Wide Web:**
< <http://www.wind-solar.cz/produkt/fag-vrla-akumulatory/>>.
- [18] Heisse Rohre [online]c2008, [cit. 2013-3-25] **Dostupné z World Wide Web:**
<<http://www.heisserohre.eu/>>.
- [19] Namir [online]c2012, [cit. 2013-3-25] **Dostupné z World Wide Web:**
<<http://www.namir.cz/text/o-nas>>.
- [20] Namir [online]c2012, [cit. 2013-3-25] **Dostupné z World Wide Web:**
<<http://www.namir.cz/sh-2200-elektrocentrala-benzinova-sharks-13720.html>>.
- [21] Plance.cz [online]c2013, [cit. 2013-4-4] **Dostupné z World Wide Web:**
<<http://www.plance.cz/>>.
- [22] Plance.cz [online]c2013, [cit. 2013-4-4] **Dostupné z World Wide Web:**
<<http://www.wind-solar.cz/produkt/wind-controller-1kw/>>.
- [23] EkoWATT [online]c2010, [cit. 2013-4-4] **Dostupné z World Wide Web:**
<http://new.ekowatt.cz/upload/185e8ebf18feb4362c73f87f56e58606/97Metodika_oze_doplnena.pdf>.
- [24] ELEKTRO [online]c2013, [cit. 2013-4-12] **Dostupné z World Wide Web:**
<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=44447>.
- [25] Doc. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D., Ing. Lukáš Prokop, Ph.D. Analýza účinnosti fotovoltaické a větrné elektrárny napájející svítidlo veřejného osvětlení. VŠB- TU Ostrava, FEI
- [26] James F. Manwell, Jon G. McGowan, Anthony L. Rogers, Wind Energy Explained: Theory, Design and Application, ISBN-10: 0471499722